

**MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU**

**VENÄLÄISEN KUVAUSSATELLIITTITIEDUSTELUN SUORITUSKYKY**

Kandidaatintutkielma

Kadetti  
Sami-Petteri Gustafsson

Merikadettikurssi 81  
Laivasto- opintosuunta

Maaliskuu 2014

## MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi Merikadettikurssi 81	Linja Laivasto- opintosuunta
Tekijä Kadetti Sami-Petteri Gustafsson	
Tutkielman nimi <b>VENÄLÄISEN KUVAUSSATELLIITTITIEDUSTELUN SUORITUSKYKY</b>	
Oppiaine, johon työ liittyy Sotatekniikka	Säilytyspaikka Kurssikirjasto (MPKK:n kirjasto)
Aika 28.3.2014	Tekstisivuja 27      Liitesivuja 0
<b>TIIVISTELMÄ</b>  Venäläinen kuvaussatelliittitiedustelu on nousemassa kohti parempaa suorituskykyä. Tutkimukseni alussa käsittelen venäläisen kuvaussatelliittitiedustelun historiaa ja tulevaisuuden suuntausta. Esittelen erilaisia tekijöitä, jotka vaikuttavat muun muassa kuvan resoluutioon ja kuvanlaatuun.  Käsittelen työssäni venäläisiä kuvaustiedustelusatelliitteja, sekä niiden suorituskykyä nyt ja tulevaisuudessa. Keskityn erityisesti Kobalt-M- ja Persona-luokkien satelliitteihin ja niiden suorituskykyyn. Tutkin myös millainen on operoivan satelliitin peittoalueen kattavuus ja kuinka tarkkaa tietoa sen avulla voidaan saada. Esittelen työssäni edellä mainittujen satelliittien erottelukyvyn ja millaisia kohteita venäläinen kuvaustiedustelu voi niillä havaita. Lopussa teen omat johtopäätökset, nykyisen ja tulevan suorituskyvyn osalta.	
<b>AVAINSANAT</b>  Venäjä, kuvaustiedustelu, suorituskyky.	

## KUVALUETTELO

Kuva 1: Jenni Vepsäläinen, (2003) kaukokartoituksen periaatteet.	[12]	s. 7
Kuva 2: Satelliittien kiertoradat	[67]	s. 9
Kuva 3: Havainnekuva johnsonin kriteeristä	[70]	s. 12
Kuva 4: Persona-luokan satelliitti	[30]	s. 15
Kuva 5: Yhteenveto suorituskyvystä	[18]	s. 19
Kuva 6: Kobalt-M satelliitti	[14]	s. 19
.		
Kuva 7: Yhteenveto suorituskyvystä	[19]	s. 21

# SISÄLLYSLUETTELO

<b>1 VENÄLÄISEN SATELLIITTITIEDUSTELUN SUORITUSKYKY .....</b>	<b>1</b>
1.1 JOHDANTO.....	1
1.2 RAJAUKSET JA TUTKIMUSKYSYMYKSET .....	2
<b>2 AVARUUDEN HYVÄKSIKÄYTTÖ SOTILASOPERAATIOISSA VENÄLÄISTEN NÄKÖKULMASTA.....</b>	<b>3</b>
2.1 HISTORIASTA NYKYPÄIVÄÄN .....	3
2.2 TULEVAISUUS .....	4
<b>3 TIEDUSTELUSATELLIITIT JA SENSORIFUUSIO .....</b>	<b>6</b>
3.1 AKTIIVINEN JA PASSIIVINEN SATELLIITTI .....	6
3.2 SAR-SATELLIITTI.....	6
3.3 SIGNAALINTIEDUSTELUSATELLIITIT .....	7
3.4 KUVAUSTIEDUSTELUSATELLIITIT .....	7
3.5 SENSORIFUUSIO JA YHTEENVETO .....	9
<b>4 KUVAUSSATELLIITTIENTEN SUORITUSKYKYYN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT .....</b>	<b>10</b>
4.1 SATELLIITTIENTEN Kiertoradat .....	10
4.2 NÄKYVYYS .....	11
4.3 RESOLUUTIO .....	12
4.4 JOHNSONIN KRITERI SUORITUSKYVYN MITTANA .....	12
4.5 YHTEENVETO .....	13
<b>5 VENÄLÄISEN KUVAUSSATELLIITTITIEDUSTELUN SUORITUSKYKY .....</b>	<b>15</b>
5.1 NYKYINEN TILANNE .....	15
5.2 PERSONA-LUOKAN SATELLIITIT.....	15
5.3 VALMISTAJAT JA TEKNISET TIEDOT .....	16
5.4 MISSIOT .....	17
5.5 TIEDONSIIRTO .....	17
5.6 RESOLUUTIO .....	19
5.7 Kiertorata ja kuvauksen ajoittaminen .....	19
5.8 Kuvauksen suorituskyky ja peittoalue.....	19
5.9 YHTEENVETO MISSIOISTA JA SUORITUSKYVYSTÄ.....	20
5.10 KOBALT-M .....	20
5.11 RESOLUUTIO JA KUVANTULKINTA .....	21
5.12 MISSIOT.....	22
5.13 YHTEENVETO MISSIOISTA JA SUORITUSKYVYSTÄ .....	22
<b>6 JOHTOPÄÄTÖKSET .....</b>	<b>23</b>
6.1 MITEN VENÄJÄ PYSTYY KÄYTTÄMÄÄN KUVAUSSATELLIITTITIEDUSTELUA MEITÄ VASTAAN NYT JA TULEVAISUUDESSA? .....	23
6.2 RESOLUUTIO JA HAVAITSEMISKYKY (SAAREEN KIINNITTYNyt) .....	24
6.3 SENSORIFUUSION MAHDOLLISUUDET .....	24
6.4 TULEVAISUUS .....	25
6.5 SUUNNITTELUSSA OLEVAT SATELLIITIT .....	25
6.6 SAATESANAT.....	27

## Lähteet

## **LYHENTEET**

CCD	Charge-coupled device
GEO	Geosynchronous Orbit
HEO	High Earth Orbit
LEO	Low Earth orbit
LOMO	Leningrad Optical Mechanical Association
MEO	Medium Earth Orbit
SAR	Synthetic Aperture Radar
TsSKB	Progress State Research and Production Rocket Space Center
LAC	Lavochkin Aerospace Company
EADS	European Aeronautic Defence and Space Company N.V.

# 1 VENÄLÄISEN SATELLIITTITIEDUSTELUN SUORITUSKYKY

## 1.1 Johdanto

Tutkielmani tarkoituksena on selvittää venäläisen kuvaussatelliittitiedustelun suorituskyky. Tarkoitukseni on saada selville millaista informaatiota ja millaisella satelliittikalustolla Venäjä kykenee saamaan infrapuna-alueen dataa merivoimista. Mitkä tekijät vaikuttavat kuvan laatuun ja miten sensorifuusion avulla voidaan vaikuttaa kuvaustiedustelun tehoon. Arvioin myös, miten satelliittitiedustelu tulee kehittymään tulevaisuudessa.

Luonnollisesti venäläisestä satelliittitiedustelusta ei löydy paljon tietoa. Erinäisiä tutkimuksia ja arvioita on olemassa, ja niiden pohjalta voidaan luoda suhteellisen eheä kuva nykyisestä suorituskyvystä. Tutkimukseni perustuu laajaan kirjallisuustutkimukseen. Tutkimukseni rakentuu kirjallisuus- sekä internet-lähteisiin ja niiden pohjalta rakennan työlleni kokonaiskuvan.

Venäläisen kuvaussatelliittitiedustelun ollessa tällä hetkellä aallonpohjalla, on mielenkiintoista tutkia sen nykyistä suorituskykyä sekä tulevaisuutta. Tutkimuksessani sivuan Venäjän asevoimien kehitystä ja sen vaikutusta kuvaussatelliittitiedusteluun ja sen tulevaisuuteen. [3;26]

Käsittelen tutkimuksessani kuvaussatelliittitiedusteluun vaikuttavia käsitteitä, kuten esimerkiksi resoluutiota ja erottelukykyä. Tutkimuksessani käsittelen ajankohtaisia venäläisiä kuvaustiedustelusatelliitteja, erityisesti Kobalt-M- ja Persona-luokkia.

Tarkoitukseni on käsitellä alkukappaleissa kuvaustiedusteluun vaikuttavia taloudellisia tekijöitä ennustaakseni tulevaa. Tutkimuksen muut kappaleet keskittyvät tutkimaan teknisiä faktoja. On oleellista, mihin jokin kuvaustiedusteluinstrumentti kykenee ja millä aika rajoituksilla.

Loppukappaleissa tarkoitukseni on tehdä kirjallisuustutkimuksen pohjalta johtopäätökset. Tavoitteenani on selvittää venäläisen kuvassatelliittitiedustelun tämän hetkinen suorituskyky ja tehdä arvio siitä, mitä se voisi olla tulevaisuudessa.

## 1.2 Rajaukset ja tutkimuskysymykset

Rajaan tutkimukseni venäläisiin kuvaustiedustelusatelliitteihin. Tutkimukseni käsittelee infra-puna-alueella toimivia satelliitteja. Sivuan työssäni myös SAR-satelliitteja, sekä signaalintiedustelusatelliitteja. SAR-satelliitteja sekä signaalintiedustelusatelliitteja käsittelen työssäni, koska sensorifuusion avulla kuvaustiedustelun suorituskykyä voidaan lisätä huomattavasti. Käsittelen myös tekijöitä, jotka vaikuttavat kuvauksen suorituskykyyn alentavasti tai kasvattavasti. Suljen työssäni muut aselajit tutkimukseni ulkopuolelle.

Tutkimuksessani arvioin, kuinka laadukasta informaatiota venäläiset voivat hankkia merivoimista kuvaussatelliittitiedustelun avulla. Työni tarkoitus ei ole laatia varsinaista uhka-arviota merivoimille. Selvitän työssäni venäläisen kuvassatelliittitiedustelun tämänhetkisen suorituskyvyn ja teen arvion tulevasta suorituskyvystä. Toivon, että työni avulla lukija voi itse muodostaa taktisen tason päätelmät, teknisten faktojen pohjalta.

Tutkimukseni päätutkimuskysymys on: Mikä on venäläisen kuvaussatelliittitiedustelun tämänhetkinen suorituskyky? Tutkimukseni sivukysymykset ovat: Millainen venäläinen kuvaussatelliittitiedustelu tulee olemaan tulevaisuudessa? Mitkä ovat kuvauksen ajalliset rajoitteet? Millaiseen resoluutioon ja kattavuuteen venäläinen kuvaussatelliittitiedustelu pystyy? Millaista satelliittikalustoa venäläisiltä löytyy?

## 2 AVARUUDEN HYVÄKSIKÄYTTÖ SOTILASOPERAATIOISSA VENÄLÄISTEN NÄKÖKULMASTA

### 2.1 Historiasta nykypäivään

Venäjän historia avaruuden hyväksikäyttöön sotilasoperaatioiden tukena ulottuu aina 1950-luvulle asti. Kylmän sodan kilpajuoksu avaruuden valtiaaksi sai silloisen Neuvostoliiton kasvattamaan oman avaruusarsenaalinsa erittäin suorituskykyiseksi.

Neuvostoliitto keskitti avaruuden herruuden saamiseen valtavia summia rahaa, sekä paljon resursseja tutkimukseen ja kehitykseen. Avaruusteknologia muodosti tuolloin valtavan toimialan joka ulottui sotilas- sekä siviilisektoreille [9]. Neuvostoliiton ja Venäjän avaruusteknologiaa tarkasteltaessa onkin joskus epämielikästä erottaa siviili- ja sotilas käyttöön tehtyjä järjestelmiä toisistaan. Useita niin sanotusti kaupallisia järjestelmiä käytettiin puhtaasti myös sotilaalliseen käyttöön kylmän sodan aikakaudella. [3]

Voidaan katsoa, että selkeästi sotilaalliseen käyttöön tarkoitettujen järjestelmien ja siviilijärjestelmien erottelu on edelleenkin harhaanjohtavaa. Monet kaupalliset järjestelmät ovat myös sotilaallisessa käytössä.

Kylmän sodan päättymisen jälkeen Venäjällä on ollut valtava tarve ylläpitää omaa suurvalta-asemaansa. Venäjä on korostanut omaa mahtiaan kuluttamalla suuria resursseja avaruusteknologian kehittämiseen. [48;49;50]

Kylmän sodan päättymisen jälkeen Venäjän kuvaustiedustelu saavutti oman aallonpohjansa. 1900-luvun lopulla Venäjän tiedustelusatelliittitoiminta oli laskenut suorituskyvyltään erittäin alhaiseksi. Venäjän tilanne nykyään verrattuna kylmän sodan parhaimpiin aikoihin on kummastuttava.

Esimerkiksi vuosina 1990-1998 Neuvostoliitto ja Venäjä suorittivat 311 onnistunutta sotilas-satelliittien laukaisua. Venäjä taas on laukaissut vuodesta 1992-2002 vain 186 satelliittia. Satelliittien laukaisuiden määrä laski niin, että 1990-luvun alussa laukaistiin 50-60 satelliittia vuodessa. Lopulta määrä on laskenut 10-15 satelliittiin per vuosi. Viimeisin ja suurin kuvaustiedustelusatelliittimissio Araks alkaa olla tiensä lopulla. Araks-hankkeen, joka tunnettiin myös nimellä Arkon, oli tarkoitus palauttaa kuvaustiedustelu jälleen vanhalle tasolle. Tällä hetkellä Araks-hankkeesta ollaan ilmeisesti luopumassa. Araks-satelliittien laukaisuisa oli



suuria rahoitusongelmia. Ongelmia on ollut myös kantorakettien puutteen takia. Rahoitusongelmien johdosta Venäjä on joutunut tyytymään halvempaan teknologiaan. Kobolt-M-satelliitit ovat paikanneet epäonnistunutta Araks-hanketta.

Venäjä on menettänyt avaruuden herruuden johtuen sen kehnosta taloudellisesta tilanteesta. Osittain ongelmaa selittää jatkuva ongelma kantorakettien sekä satelliittien puutteesta joka on toisaalta yhteydessä huonoon taloudelliseen tilanteeseen. Avaruusteknologian kehityksen taso on silti ollut poikkeuksellisen hyvällä tasolla verrattuna rahaan jota on ollut käytettävissä tutkimus- ja kehitystyöhön. [3;9;26;71]

## 2.2 Tulevaisuus

Voidaan ajatella, että Venäjän sotilassatelliittijärjestelmän kehitys on aloittamassa uutta aikakauttaan. Vladimir Putin on linjannut useaan otteeseen puheissaan, että Venäjän on palautettava suurvalta-asemansa avaruudessa. Venäjän kasvattaessa 2010-luvulla puolustusbudjettiaan huomattavasti on odotettavissa kehitystä myös avaruustiedustelun suhteen. [3;71;39;37]

Venäjän asevoimien liikkuvuus on kasvanut. Tiedustelun merkitys sodankäynnissä, sekä informaationsodankäynnin tärkeys ovat pakottaneet Venäjän kohdistamaan yhä enemmän huomiota siihen, miten avaruusteknologia sekä sotilassatelliittijärjestelmät saadaan palautettua sille tasolle, jolla ne olivat suhteessa kylmän sodan parhaimpina vuosina. [58] Putin on puheissaan osoittanut, että Venäjän on tarkoitus kehittää asevoimistaan mahdollisimman modernit. Tämä tarkoittaa uudistuksia eritoten teknologian saralla. [40;48;4]

Uudistukset alkoivat 1994 jolloin yhdistettiin avaruus- ja ohjusjoukot. Tämän hankkeen tarkoituksena oli luoda sotilasvakuutusyhtiö jonka vastuulla olisi kerätä muun muassa tiedustelusatelliittien laukaisuun tarvittavat varat.

2000-luvulle tultaessa avaruus- ja ohjusjoukot muutettiin avaruusjoukoiksi karsimalla ylimääräisiä komponentteja pois. Avaruusjoukkojen tarkoituksena on palauttaa venäläisten tiedustelusatelliittien suorituskyky Yhdysvaltojen tasolle mahdollisimman nopeasti. Odotettavissa on siis nopeaa kehitystä tiedustelusatelliittien suorituskyvyn saralla. Aiempi tiedustelusatelliittien huono tila johtui pääsääntöisesti määrärahoista. Venäjän talous on kuitenkin hitaasti elpymässä ja avaruusjoukoille on varattu suuri budjetti asevoimien uudistuksen myötä. Tulevaisuudessa satelliittitiedustelu tulee todennäköisesti elpymään ja saavuttamaan paremman tason niin teknologian, kuin peittoalueen suhteen. Venäjä on tähän mennessä luottanut omaan tek-

nologiseen osaamiseensa. Venäjä on nyt ensimmäistä kertaa historiansa aikana tilaamassa satelliittiteknologiaa ulkomailta. Venäjä on tilannut viiden kuvaustiedustelusatelliitin tekniikan ulkomaiselta toimittajalta [46]. Voidaan olettaa, että Venäjä on aloittamassa uutta aikakautta parantaakseen kuvaussatelliittitiedustelun suorituskykyä. [3;26;33;49]

### 3 TIEDUSTELUSATELLIITIT JA SENSORIFUUSIO

#### 3.1 Aktiivinen ja passiivinen satelliitti

Ymmärtääkseen satelliittien suorituskykyä on ymmärrettävä miten ne peruseriaatteiltaan toimivat. Satelliitit ovat sensoreilla varustettuja lavetteja. Satelliittien sensorit toimivat niin kuin esimerkiksi lämpökamera tai merenkulkututka. Satelliittien sensorit voidaan jakaa passiivisiin ja aktiivisiin sensoreihin toimintaperiaatteidensa pohjalta.

Passiivisia satelliitteja ovat esimerkiksi monet optiikkaa käyttävät kuvaussatelliitit. Ne eivät varsinaisesti lähetä maahan mitään pulssia, vaan sen sijaan vain vastaanottavat maasta heijastuvaa säteilyä. Passiiviset tiedustelusatelliitit eivät siis kykene suorittamaan tiedustelua ilman, että ne saavat ulkoista säteilyä. Passiiviset satelliitit eivät kykene suorittamaan tiedustelua kaikissa valaistus- ja sääolosuhteissa.

Aktiiviset satelliitit eroavat passiivisista kohteen valaisutavan osalta. Sen lisäksi että aktiiviset sensorit vastaanottavat signaalia, ne myös lähettävät sitä. Niissä on lähetinantenni, joka ikään kuin valaisee kohteen. Vastaanotin vastaanottaa lähettimen maasta palaavan pulssin.

Aktiiviset satelliitit kuten esimerkiksi SAR-satelliitit pystyvät toimimaan kaikissa sää- ja valaistusolosuhteissa. Aktiiviset satelliitit kykenevät suorittamaan reaaliaikaista tiedustelua kohteestaan ja siksi ne ovat yleistymässä satelliittitiedustelussa. [27]

#### 3.2 SAR-satelliitti

Synteettisen apertuurin tutkasatelliitti on aktiivisella sensorilla varustettu lavetti. Kyseinen järjestelmä tunnetaan nimeltä Synthetic Aperture Radar. SAR-satelliitin sensorit ovat aktiivisia sensoreita, koska ne lähettävät sähkömagneettista säteilyä mikroaaltoalueella ja vastaanottavat palaavan säteilyn. Vastaanotetusta säteilystä tutka kykenee muodostamaan kaksiulotteisen kuvan laskemalla signaalin paluuaajan ja vertaamalla sitä sähkömagneettisen säteilyn vakiointuihin etenemisnopeuksiin. SAR-satelliitit ovat suorituskyvyltään parempia kuin kuvaussatelliitit siinä mielessä, että ne kykenevät tiedustelemaan kaikissa sää- ja valaistusolosuhteissa. [7;27;51]

SAR-satelliittien kuvauksen peittoalue on laitteistosta riippuen kilometristä muutamaan kilometriin. Resoluutio, johon SAR-satelliitti kykenee on alle metristä noin 20 metriin riippuen mitä kohtaa tarkastellaan satelliitin pyyhkäisypinnasta. [27]

### 3.3 Signaalintiedustelusatelliitit

Signaalintiedusteluun käytettävien satelliittien tekniikka on kutakuinkin samankaltaista, mitä käytetään myös maassa elektroniseen sodankäyntiin. Signaalintiedustelusatelliitissa on antenni, joka vastaanottaa kuunneltavalta alueelta tulevaa signaalia. Signaali nauhoitetaan nauhuriin, jonka tallenne lähetetään maahan käsiteltäväksi.

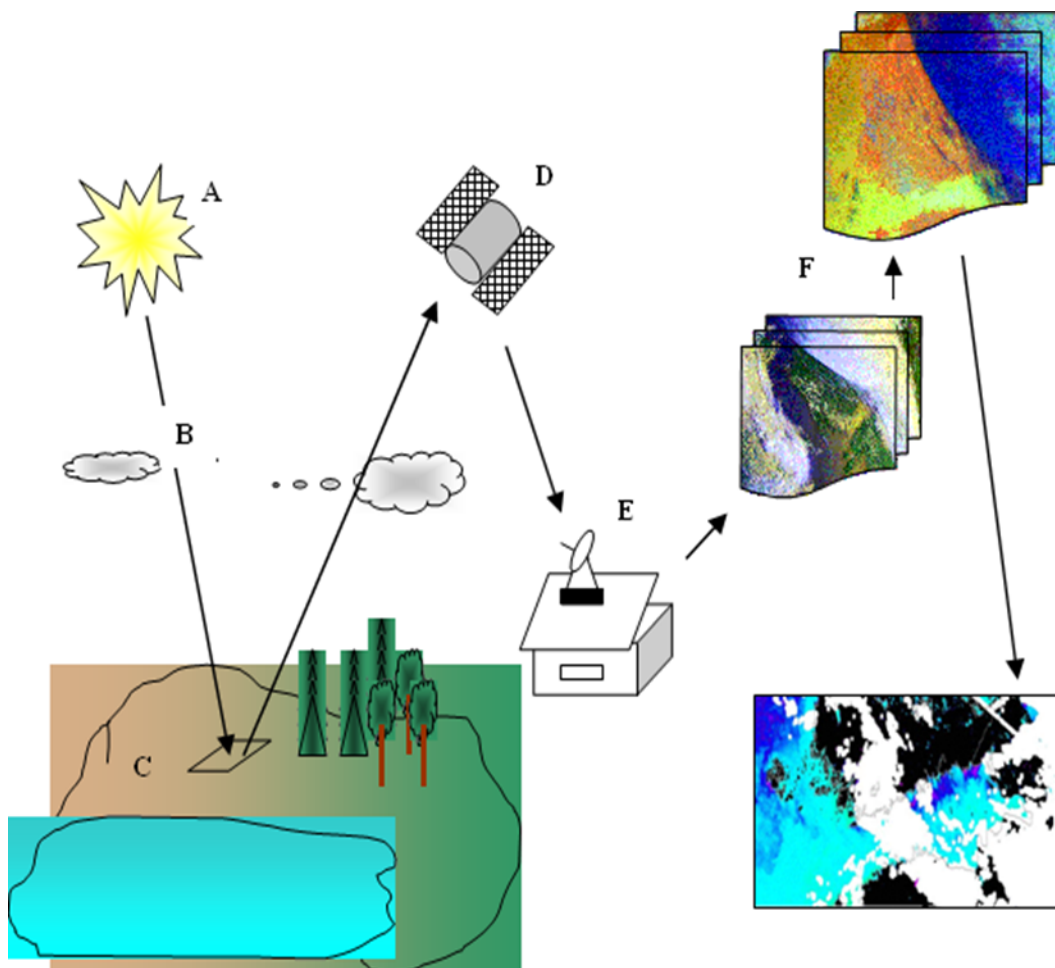
Signaalintiedustelusatelliitissa on toiminnaltaan passiivinen sensori, joka vain vastaanottaa säteilyä. Talteen kerätty informaatio pystytään käsittelemään maa-asemalla ja tekemään saadusta nauhoitteesta päätelmiä.

Signaalintiedustelusatelliitit on luonnollisesti sijoitettu lentämään maan lähellä olevalla radalla. LEO-radalta on vielä mahdollista kaapata maasta kulkeutuvia signaaleja. Ylemmille radoille mentäessä kyseisen sensorin hyötysuhde pienenee huomattavasti. [6;40]

### 3.4 Kuvaustiedustelusatelliitit

Kaukokartoitukseen käytettävät kuvaussatelliitit ovat edelleen tärkeitä satelliittitiedustelussa. SAR-satelliiteille kuvaussatelliitit häviävät siinä määrin, että passiiviset kuvaussatelliitit eivät kykene toimimaan kaikissa sää- ja valaistus olosuhteissa. Kuvaussatelliitit ovat edelleenkin parempia digitaalisen kuvan muodostuksen suhteen. Kuvaussatelliiteilla voidaan muodostaa parempia värikuvia. Ihmissilmä kykenee havaitsemaan vain kymmeniä eri harmaan sävyjä, mutta paljon paremmin erilaisia värejä. Näin ollen kuvaussatelliittien tuottamat värikuvat antavat kuvaa analysoiville enemmän tietoa kuin mustavalkoinen tutkakuva.

Kuvaussatelliitin sensorit on toiminnaltaan passiivisia. Kuvaussatelliitissa ei ole lähetintä, vaan sähkömagneettista säteilyä vastaanottava sensori. Satelliitin sensori pyydystää maasta heijastuvaa valoa.



Kuva 1: [12]: Jenni Vepsäläinen, (2003) kaukokartoituksen periaatteet.

Aurinko säteilee maahan, josta valo heijastuu materiaalista riippuen eri tavalla. Maasta tuleva valo heijastuu eri pinnoista eri aallonpituudella. Tätä ominaisuutta käytetään hyväksi myös kuvaustiedustelusatelliiteissa. Kuvaus satelliitti lähettää saadun informaation maa-asemalle, jossa saadusta informaatiosta pystytään muodostamaan digitaalinen kuva tutkitusta alueesta. Tiedot voidaan lähettää radiolinkillä, pudotuskapselilla tai niin, että satelliitti palaa maahan. Maa-asemalla vastaanotettu informaatio käsitellään halutulla tavalla ja siitä poistetaan tunnetut virheet. Käsitelystä informaatiosta muodostetaan analysoinnin jälkeen päätelmät. Näin ollen muodostuu tiedustelutietoa. [20;27]

Kuvaussatelliittien suorituskyvyt vaihtelevat huomattavasti riippuen onko kyseessä ensimmäisen vai toisen sukupolven satelliitti. Venäläisten kuvaussatelliittien resoluutio viimeisen viiden vuoden ajan ollut noin 30-50 senttimetriä [19]. Yhden satelliitin peittoalue oli Araksatelliiteilla noin 30 kilometriä tarkalle kuvalle, sekä 1000 kilometriä vähemmän tarkalle kuvalle. Uusin Persona-luokka kykenee 1300 kilometrin peittoalueeseen. Yhdysvallat on saavut-

tanut parhaan kuvaussatelliittitiedustelukyvyn ja Yhdysvaltojen parhaimmat satelliitit kykenevät senttimetriluokan resoluutioon [35]. [6;40]

### 3.5 Sensorifuusio ja yhteenveto

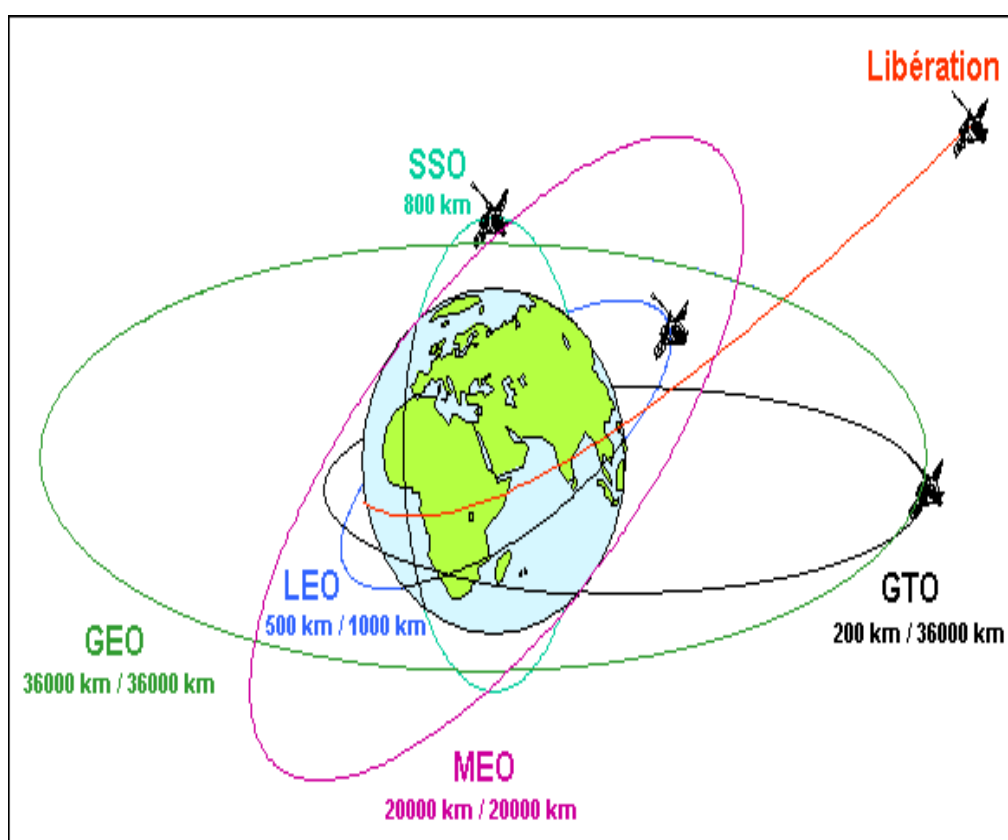
Venäläisillä on hallussaan kuvaussatelliitteja, SAR-satelliitteja sekä signaalintiedustelusatelliitteja. Venäläinen signaalintiedustelusatelliittien suorituskkyky on tällä hetkellä heikolla tasolla. Yhdistämällä satelliittitiedustelussa erilaisten satelliittien antamaa informaatiota voidaan kuitenkin yksittäisen satelliittityypin antaman informaation tehoa lisätä.

Toimenpidettä, jossa yhdistetään eri sensorien antamaa tietoa, kutsutaan sensorifuusioksi. Aktiiviset SAR-satelliitit pystyvät toimimaan kaikissa sää- ja valaistusolosuhteissa, kun taas passiiviset kuvaussatelliitit tarvitsevat infrapunavaloa. Infrapunalla toimivilla kuvaussatelliiteilla saadaan optimiolosuhteissa tarkempaa kuvaa kuin mikroaaltoja käyttävillä SAR-satelliiteilla saavat parhaimmillaan. Sää- ja valaistusolosuhteiden takia kuvaussatelliiteille jää aukkoja kuvaukseen. Sensorifuusion avulla voidaan yhdistää eri lähteistä saatuja tietoja ja koota niistä luotettavampaa informaatiota. Informaatio on varmempaa kuin vain yhdestä sensorilähteestä saatu data. [7;26;27;32;33;55]

## 4 KUVAUSSATELLIITTIENTEN SUORITUSKYKYYN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

### 4.1 Satelliittien kiertoradat

Satelliitit kiertävät maata erilaisilla radoilla. Ratakorkeus valitaan satelliitille sen käyttötarkoituksen perusteella. Radat on jaettu korkeutensa perusteella seuraavalla tavalla: LEO, GEO, MEO, SSO ja HEO.



Kuva 2 [52]: Satelliittien kiertoradat

LEO-radan (low earth orbit) satelliitit toimivat noin 600 - 1100 kilometrin korkeudella. LEO-radan satelliitit ovat satelliiteista lähinnä maata. Maan vetovoimasta johtuen ne kuluvat muita satelliitteja enemmän ja niiden rataa tulee korjata enemmän kuin korkeamman radan satelliitteja. [62]

SSO (sun synchronous orbit) on kiertorata, joka on erityisen edullinen kuvaustiedustelusatelliiteille. SSO-radalla satelliitti ylittää saman kohteen joka päivä samaan aikaan. Näin ollen täl-

lä ratakorkeudella pystytään suorittamaan hyvää vertailua kuvausten välillä tapahtuvista muutoksista [26;59;64].

GEO-radan (geostationary orbit) satelliitit toimivat noin 35 680 kilometrin korkeudessa. Satelliitit pysyvät tällä korkeudella paikallaan maan suhteen. GEO satelliiteilla pystytään valvomaan yksittäistä kohdetta ilman taukoja. [10]

MEO-radan (medium earth orbit) satelliitit toimivat noin 10400 - 20200 kilometrissä. MEO-rata on HEO- ja LEO-ratojen välissä. MEO-radassa yhdistyvät HEO- sekä LEO-ratojen haitat ja hyödyt. MEO-radalla saadaan toimiva, maan kattava peittoalue muutamilla satelliiteilla.

HEO-radan (highly elliptical orbit) satelliitit kiertävät maata noin 39 200 – 100 000 kilometrin korkeudessa. HEO-satelliiteilla on laaja peittoalue, mutta pitkä tiedonsiirtoaika. HEO-radalla kiertävät satelliitit eivät kulu niin paljon kuin alemmilla ratatasoilla kiertävät satelliitit. [8;11;27;53]

## 4.2 Näkyvyys

Näkyvyys eli visibility on heijastumisen havaitsemista mittaava käsite. Maa heijastaa aurinгон valoa. Havaintsija havaitsee valon ja muodostaa siitä kuvan, sillä eri pinnat ja värit heijastavat valoa erilailla. Satelliitti toimii havaintsijana samalla lailla kuten ihmissilmä, sillä erotuksella, että kuvanmuodostus on erilainen.

Kuvaussatelliittien havaitsema infrapuna-alueen valo vaimenee ilmakehän epähomogeenisuuksien takia. Kuvaustiedustelusatelliitit ovat riippuvaisia ideaalioloista, jolloin ne kykenevät havaitsemaan maasta heijastuvaa säteilyä. Kuvaussatelliittien tuottama kuva on käyttökeltvotonta, mikäli ilmakehässä on liikaa epähomogeenisuuksia, esimerkiksi sumun sisältämää vesihöyryä. [30;57]

Tietyt taajuudet läpäisevät ilmakehän epähomogeenisuudet paremmin kuin toiset. Kuvaussatelliitit on rakennettu toimimaan tietyllä taajuudella, joka läpäisee ilmakehän epähomogeenisuuksia hyvin. Erityistaajuuksilla näkyvyys maasta avaruuteen paranee huomattavasti. [43]



### 4.3 Resoluutio

Erotuskyky ja resoluutio voidaan mieltää samanlaisiksi käsitteiksi. Erotuskyky on mittari sille, kuinka pieni yksityiskohta voidaan erottaa kuvasta. Kuvaustiedustelusatelliiteille yksi tärkeimmistä laadun mittareista on erotteluresoluutio.

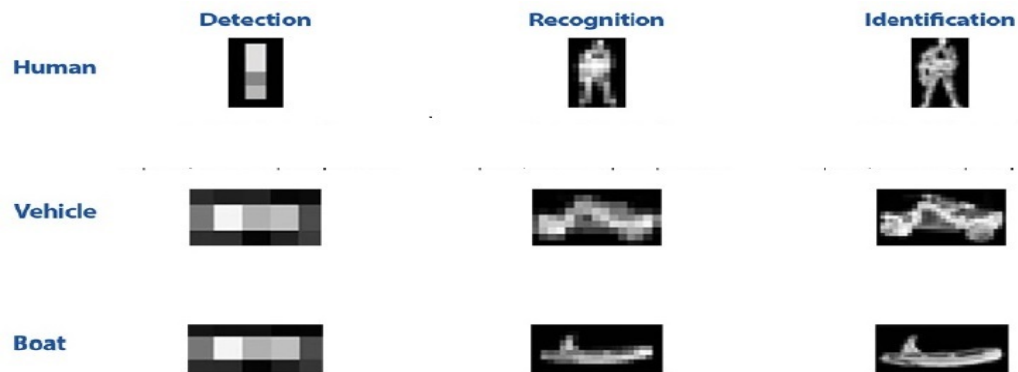
Erotteluresoluutio mittaa sitä, kuinka lyhyellä matkalla kaksi kohdetta, esimerkiksi autoa voidaan vielä erottaa toisistaan. Erotteluresoluution ollessa kahden metrin luokkaa voidaan satelliitilla tehdä jo tarkkoja päätelmiä kohteista. Erotteluresoluutio on yleensä sitä parempi mitä isompi peili satelliittiin on asennettu.

Erotuskykyyn vaikuttavat olennaisesti kontrasti, näkyvyys sekä sensorin suoritussyky. Hyvin naamioitua kohdetta jossa kontrastia on häivennetty, on huomattavasti vaikeampi havaita tai erottaa taustastaan kuin naamioimatonta. [27;28;61]

### 4.4 Johnsonin kriteeri suoritussyvyn mittana

Tutkimuksessani halusin ottaa esille Johnsonin kriteerin. Johnsonin kriteerin avulla on helppo arvioida kuvaustiedustelusatelliittien erottelukykyä. Johnsonin kriteeri kehitettiin aikoinaan optisten kuvauslaitteiden erottelussyvyn mittariksi. Sen avulla sensorin suoritussyvyllä voidaan asettaa raamit, joiden avulla voidaan arvioida, vertailla ja tutkia kuvauksen tarkkuutta ja etenkin kontrastia.

Johnsonin kriteerissä suoritussyky on jaettu kolmeen pääosaan: detection (havainto), recognition (tunnistus), identification (yksilöinti). Yksi määre voi myös olla orientation (suunta).



Kuva 3 [70]: Havainnekuva Johnsonin kriteeristä

Detection eli havainto tarkoittaa määrettä, jossa on havaittu jokin kohde. Recognition eli tunnistus tarkoittaa, että voidaan tunnistaa mikä kohde on kyseessä, esimerkiksi ihminen, moottoripyörä tai vene. Identification eli yksilöinti tarkoittaa, että kohde voidaan tunnistaa esimerkiksi naiseksi tai mieheksi. Orientation eli suunta kertoo kohteen suunnan, onko kohde esimerkiksi pitkittäin vai poikittain.

Johnsonin kriteerissä käytetään viivapareja, joita verrataan. Viivapareja vertaamalla selvitetään, kuinka monta viivaparia tarvitaan jonkin tietyn kohteen havaitsemiseen. Johnsonin kriteerin avulla saadaan optiselle sensorille luokiteltua sen suorituskky.

Peruskriteerit toimivat seuraavasti: Detection eli havainto: (1.0  $\pm$  0.25 viivaparia). Orientation eli suunta: (1.4  $\pm$  0.35 viivaparia). Recognition eli tunnistus: (4  $\pm$  0.8 viivaparia) Identification eli yksilöinti: (6.4  $\pm$  1.5 viivaparia). [27;63]

#### 4.5 Yhteenveto

Venäläiset kuvaustiedustelusatelliitit ovat toimineet Araks-hankeen aikana HEO-radalla. HEO-radassa on etuja alempiin ratatasoihin nähtynä runsaasti. HEO-radan satelliitit eivät kulu ilmakehän epähomogeenisuuksien sekä kitkan takia niin paljon, kuin alemmilla radoilla. HEO-radan satelliiteilla on pidempi elinkaari kuin alemman tason satelliiteilla ja suurempi kuvauksen peittoalue.

HEO–radan satelliittien tuottama kuva on resoluutioltaan huonompaa kuin esimerkiksi LEO–radan satelliittien tuottama kuva. Tiedonsiirto HEO-radalta maahan on hidasta. Näkyvyys ja resoluutio luonnollisesti heikkenevät edettäessä LEO–radalta ylemmille rata-tasolle. Kobalt-M-satelliitit ovat operoineet LEO-radalla. LEO-radalta saadaan tarkinta kuvaa, koska LEO-rata on maata lähinnä oleva rata. Persona-luokan satelliitit ovat operoineet SSO-radalla. SSO–radan etuja on kuvauksen sama ajoitus joka päivä. Tämä ominaisuus helpottaa kuvan analysointia ja muutoksen löytymistä kuvasta. Hyvän kuvaustiedustelupeiton aikaansaamiseksi Venäjä aikoo käyttää useampia ratatasoja [38]. Korkeammilta ratatasoilta saavutetaan kokonaan kattava peittoalue. Kun mielenkiintoinen kohde löytyy ylemmän radan satelliitin toimesta, alemmilla tasoilla suoritetaan kiinnostavien kohteiden tarkempaa kuvausta. [11;26;31;63]

## **5 VENÄLÄISEN KUVAUSATELLIITTITIEDUSTELUN SUORITUSKYKY**

### **5.1 Nykyinen tilanne**

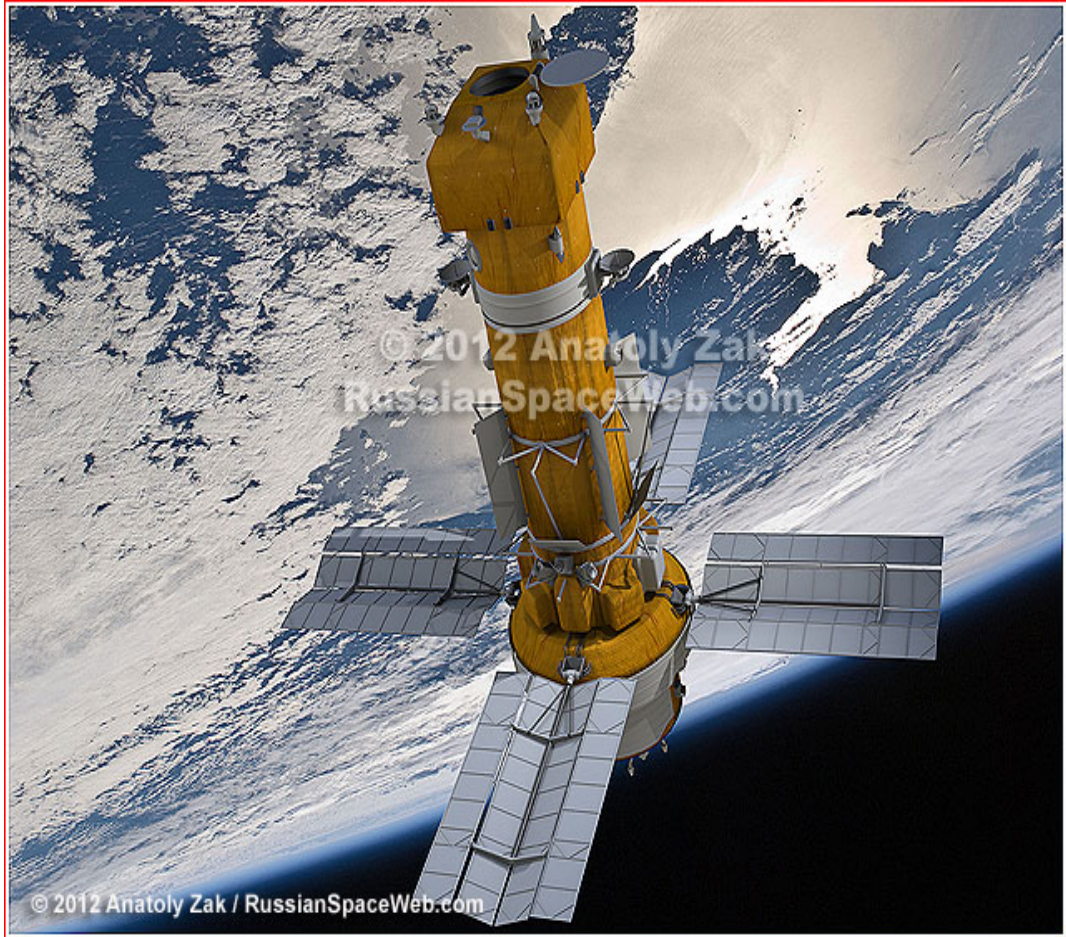
Venäjällä on yksi operoiva kuvaustiedusteluun kykenevä Persona 2-luokan satelliitti. Persona 3-satelliitin laukaisu oli suunniteltu vuoden 2013 loppuun tai vuoden 2014 alkuun. Kobolt-M satelliitti-missioita on tehty kerran vuodessa välillä 2004 vuoteen 2012 asti. Julkisten lähteiden perusteella Venäjällä ei ole tällä hetkellä operoivaa Kobolt-M-satelliittia. Kobolt-M-missioiden tulevaisuudesta ei ole tietoa julkisissa lähteissä. Venäjä tilaa ulkomaiselta toimittajalta viisi uuden sukupolven kuvaustiedustelusatelliittia. [26;37]

Tällä hetkellä venäläinen kuvaustiedustelu on erittäin heikolla tasolla, mikäli sitä verrataan Neuvostoliiton kylmän sodan ajan tiedusteluun. Venäjä on alkanut uudistaa asevoimiaan ja avaruusjoukot tulevat saamaan huomattavaa lisärahoitusta, näin ollen on odotettavissa huomattavaa kehitystä kuvaussatelliittitiedustelun suorituskyvyn suhteen. [3;32]

Tämän hetkinen kuvaussatelliittitiedustelu on julkisten lähteiden perusteella suunnattu Yhdysvaltoja vastaan. Venäläinen kuvaussatelliittitiedustelu on kohdistettu Yhdysvaltojen ohjuksia vastaan. Kuvaustiedustelusatelliitit toimivat todennäköisesti osana ohjusten ennakkovaroitussjärjestelmää. [2;33;40;47;56;]

### **5.2 Persona-luokan satelliitit**

Persona-luokan satelliitti on Venäjän asevoimien toistaiseksi suorituskykyisin kuvaustiedustelusatelliitti. Venäjän avaruusjoukot käynnistivät Persona-luokan suunnittelun saavuttaakseen koko maan kattavan kuvaustiedustelu peiton. Venäjän tavoitteena oli saattaa toimintaan aluksi neljä operoivaa Persona-luokkaan kuuluvaa satelliittia. Neljällä satelliitilla voidaan auttavasti saavuttaa koko maan kattava peittoalue. Aluksi tavoitteena oli kaksi laukaisua vuosittain. Tavoite ei kuitenkaan ole toteutunut [5].



Kuva 4 [30]: Persona-luokan satelliitti

### 5.3 Valmistajat ja tekniset tiedot

Persona-luokan satelliittien on määrä korvata Kobalt-M-luokka sekä Araks-luokka. Persona-satelliitit on rakennettu Resurs DK-luokan pohjalle. Resurs DK-luokka on tutkimukseen ja kaukokartoitukseen tarkoitettu kuvaussatelliitti. Persona-satelliittien rakennuksesta vastaa TsSKB eli Progress State Research and Production Rocket Space Center. Persona-satelliittien optiikan valmistaa LOMO eli Leningrad Optical Mechanical Association, sekä Vavilovin valtion optinen instituutti. Persona-satelliitit ovat sopivia Soyuz-2-1b-kantoraketille.

Persona-luokan satelliitti on massaltaan 6500 kiloa. Persona-satelliitit ovat seitsemän metrin pituisia ja niiden halkaisija on 2,7 metriä. Satelliitin optiikka perustuu Korchtyyppiseen teleskooppiin. Pääpeilin halkaisija on 1,5 metriä ja sen polttoväli on 20 metriä. Satelliitissa oleva CCD (Charge-coupled device) eli infrapunavaloa aistiva sensori on ELCT1080-mallinen. Se kykenee aistimaan 9  $\mu\text{m}$  taajuudella olevaa valoa. Persona-satelliittien CCD:t valmistaa Electron-Optronics ja suunnittelussa on mukana yhtiö nimeltä NPO Opteks. [26;29;41]

## 5.4 Missiot

Ensimmäinen Persona-luokan satelliitti laukaistiin heliosynkroniselle kiertoradalle 750 kilometrin korkeuteen. Ensimmäinen laukaisu suoritettiin 26. heinäkuuta 2008 Plesetskin avaruuskeskuksesta. Operaatio tunnetaan nimellä Kosmos 2441. Laukaisu onnistui, mutta Persona 1-satelliitin ongelmat alkoivat heti radalle saavuttaessa. Persona 1-satelliitti ei kyennyt siirtämään keräämäänsä dataa maahan. Syyksi epäillään säästöjen vuoksi hankittuja halpoja osia, jotka eivät kestäneet avaruudessa olevaa säteilyä. Toiseksi syyksi epäillään väärää ratavalintaa. Alun ongelmien jälkeen länsimaiset sensorit havaitsivat Persona-satelliitin vaihtavan ratakorkeutta. Radan vaihdolla yritettiin saada datansiirtoa toimimaan, mutta tuloksetta. Kosmos 2441-operaatio ei ollut menestys ja lähteiden mukaan Persona 1-satelliitin datansiirtoa ei ole saatu lainkaan toimimaan sen laukaisun jälkeen. [32;43]

Toinen Persona-luokan satelliitti Persona 2 laukaistiin 7. kesäkuuta 2013 [52]. Laukaisu suoritettiin Plesetskin avaruuskeskuksesta noin 725 kilometrin korkeuteen. Radalle päästyään satelliitin kerrottiin toimineen odotetusti. [57] On kuitenkin huomattava, että datan siirtoon, kuvan siirtoon ja laatuun viittaavat lähteet ovat kaikki venäläisiä. Lähteiden perusteella voidaan päätellä, että Persona 2-satelliitti toimii ja on operatiivisessa käytössä. [1;37]

## 5.5 Tiedonsiirto

Persona 2-satelliitti kykenee siirtämään lähes reaaliaikaista dataa radiolinkin avulla. Radioteitse siirtyvän datan viiveeseen liittyen ei löytynyt laadukasta kirjallisuus- tai internet-tietoa. Olisi mielekästä tietää siirron nopeus bitteinä aikayksikköä kohden. Siirtonopeutta bitteinä koskevaa tietoa ei kuitenkaan löydy ainakaan julkisista lähteistä. Tulevien Persona-satelliittien datansiirto tapahtuu ”laser data transmission” systeemin avulla. Kyseisen tiedonsiirtomenetelmän toimivuudesta on vain venäläisiä lähteitä, joihin tulee suhtautua varauksella. Tiedonsiirrosta tiedetään se, että se on venäläisten lähteiden mukaan erittäin nopeaa ja reaaliaikaista. Datan siirtonopeus on luonnollisesti erittäin salattu asia.

Voidaan kuitenkin tehdä päätelmiä siitä, kuinka data siirtyy satelliitista maa-aseman operaattorille. Tiedetään, että dataa siirretään radiolinkin avulla. Datan siirtymisnopeus riippuu satelliitin etäisyydestä maa-asemaan, sekä ilmakehän aiheuttamasta vaimennuksesta. Mikäli satelliitti on suoraan maa-aseman päällä, on etäisyys noin 725 kilometriä. Radio-

aalto etenee tyhjiössä valon nopeudella 299792000 (m/s). Radioaallon eteneminen tällaisella matkalla voidaan laskea yleisesti tunnetun kaavan avulla, sillä tunnemme tarvittavat vakiot ja etäisyydet. [22;42]

$t = \text{aika (m/s)}$

$x = \text{matka (m)}$

$c = (\text{valon})\text{nopeus}$

Saadaan kaava:

$$t = \frac{x}{c}$$

Sijoitetaan tunnetut arvot kaavaan. Etäisyys satelliitista maa-asemaan on noin 750000 (m). Radioaalto etenee ilmakehässä noin valonnopeudella. Nopeuteen vaikuttavat ilmakehässä olevat partikkelit, jotka heijastavat ja vaimentavat signaalia.

$$t = \frac{750\,000(m)}{299792000(\frac{m}{s})}$$

$$= 0,00250173s$$

Voidaan tehdä päätelmä, että Persona-luokan satelliitti kykenee lähes reaaliaikaiseen datansiirtoon, mikäli satelliitti on maa-aseman kantoalueella. Datansiirron nopeus voidaan laskea noin arvona aika/matka laskulla, haluttujen pisteiden avulla. On kuitenkin huomioitava, että siirrettävän datan laatuun vaikuttaa monia tekijöitä. Emme tunne esimerkiksi maa-aseman dataa vastaanottavia sensoreita tai satelliitin käyttämää siirtotaajuutta. Laskuja suoritettaessa tulisikin huomioida etäisyyden lisäksi sen hetkinen radiokeli ja ilmakehän aiheuttama vaimennus. Mikäli datan laatu on heikkoa, esimerkiksi heikon signaalin takia, vaikuttaa se myös kuvan laatuun. Tunnettujen arvojen avulla voidaan saada selville datansiirron suorituskyky sillä tarkkuudella, että tiedetään satelliitin operatiivinen suorituskyky.

Tulevaisuuden satelliitit käyttävät niin sanottua ”relay satellite” menetelmää. Myös venäläiset ottavat julkisten lähteiden perusteella niin sanotun välittäjä-satelliitin käyttöön. Välittäjä-satelliittiverkon avulla saadaan data siirrettyä aina maa-asemaa lähinnä olevalle relay-satelliitille, joka siirtää sen nopeinta reittiä maahan. [8;22;26;29;41;59]

## 5.6 Resoluutio

Persona-luokka kykenee tuottamaan pääsääntöisesti 50 senttimetrin resoluutioista kuvaa. Persona-luokan propulsiojärjestelmän avulla voidaan resoluutiossa päästä jopa 33 senttimetrin tarkkuiseen kuvaan. Kuvan tarkkuuteen liittyviä lähteitä on suhteellisen paljon. LOMO:n eli valmistajan sivuilla olevaa informaatiota tulisi tarkastella kriittisesti, mutta useat muut arviot ja lähteet tukevat 33-50 senttimetrin resoluutioista datan tuottoa. [27;29;37]

## 5.7 Kiertorata ja kuvauksen ajoittaminen

Persona-luokan satelliitti on heliosentrisellä radalla. Heliosentrinen rata on edullinen kuvaustiedustelusatelliiteille [27]. Satelliitin kierto on suunniteltu niin, että se ylittää halutun pisteen samaan kellon aikaan joka päivä. Koska satelliitti on samassa paikassa ja suhteellisen samoissa valaistuosuhteissa joka päivä, voidaan kohdealueelta havaita muutoksia paremmin. Maa-asemalla työskentelevät operaattorit suorittavat kuvavertailuja, joissa laitetaan kaksi kuvaa päällekkäin. Kuvavertailun avulla voidaan huomata kohdealueelle tapahtuvat muutokset. Lähteiden perusteella Persona-satelliitti on tällä hetkellä osa Yhdysvaltoja varten rakennettua ohjuksen ennakkovaroitusjärjestelmää. On kuitenkin muistettava, että Persona 2-satelliitti on propulsiokykyinen. Tehtävästä riippuen satelliittia voidaan siirtää kohdealueen päälle sen hetkisen tarpeen mukaan. [23;26;37]

## 5.8 Kuvauksen suorituskyky ja peittoalue

Persona 2-satelliitti kykenee kuvaamaan 1300 neliökilometrin alueen. Persona 2-satelliitin maksimi kohteentunnistuskapasiteetti on noin 250 kohdetta yhden päivän aikana. Operaattoritasalla on huomioitava, kuinka nopeasti ja kuinka monta kohdetta operaattori kykenee tunnistamaan ja missä ajassa. [1;26;29;61]



## 5.9 Yhteenveto missioista ja suorituskyvystä

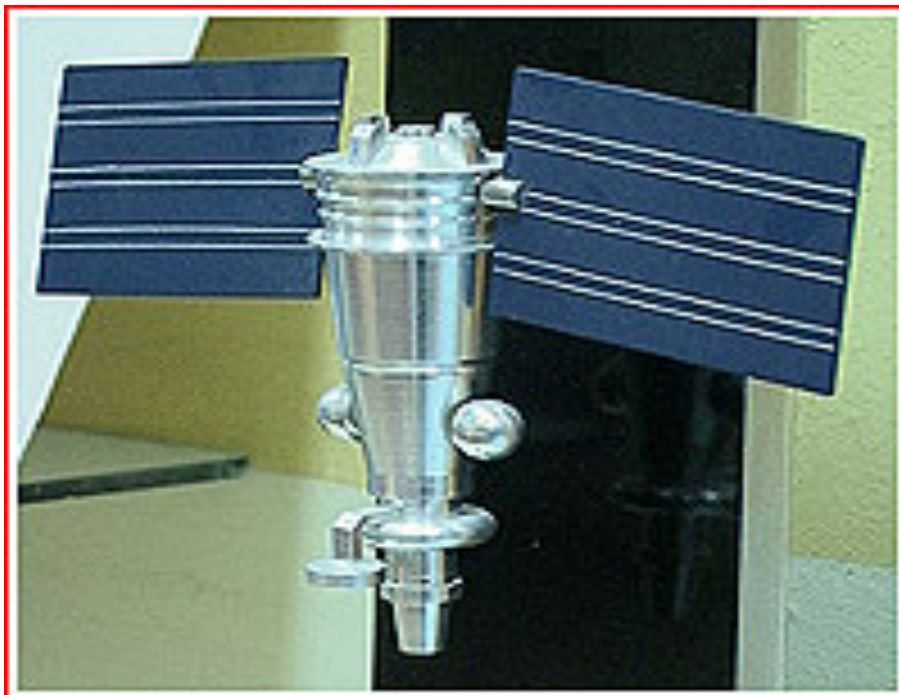
<b>PERSONA-SATELLIITTIIEN MISSIOT (14F137)</b>		
<b>Laukaisupäivä/Mission päättyminen</b>	<b>Satelliitti/ Missio</b>	<b>Laukaisupaikka/Kantoraketti</b>
1. 26.7.2008/helmikuu 2009	Persona 1 / (Kosmos-2441)	Plesetsk/Soyuz-2-1b
2. 7.6.2013/-	Persona 2 / (Kosmos-2486)	Plesetsk/Soyuz-2-1b
3. 2014 alkuvuodesta/-	Persona 3 / (Kosmos-xxxx)	-

<b>PERSONA-SATELLIITIN SUORITUSKYKY</b>	
Kuvauksen peittoalue	1300 kilometriä
Resoluution tarkkuus	33 senttimetriä
Kohteiden havaintokyky	250 kohdetta/päivä
Elinikä	3-7 vuotta
Lentoradan korkeus	725 kilometriä
Lentorata	LEO (Low Earth Orbit) / (Sun synchronous orbit)
Inklinaatio	98,3°
Saman kohteen ylitys	Kerran päivässä/voidaan vaikuttaa propulsioon avulla.
Datansiirto	Radiolinkin avulla/Persona 3 (laser)
Massa	7000 kg

Kuva 5 [18]: Yhteenveto suorituskyvystä

### 5.10 Kobalt-M

Kobalt-M-satelliitti, tehdasnimeltään Yantar, on TsSKB:n eli Progress State Research and Production Rocket Space Center:n kehittämä ja OAO Arsenal Pietarin valmistama kuvaustiedustelusatelliitti. Kobalt-M-missiot kantavat Persona-satelliittien tapaan nimeä Kosmos. Kobalt-M:n on tarkoitus olla viimeinen kuvaustiedustelusatelliitti, joka palauttaa kerätyn datan pudotuskapselien avulla maahan. Kobalt-M-satelliitit on kehitelty Yantar-4K1:n rungosta.



Kuva 6 [53]: Kobalt-M-satelliitti

Satelliitin elinikä on ollut tehtävästä riippuen noin 120 päivää. Neuvostoliiton romahduksen jälkeen Kobalt-M-satelliitit ovat olleet aktiivisessa käytössä niiden edullisuuden, yksinkertaisuuden ja tarkan kuvaresoluution vuoksi. [4]

Kobalt-M-satelliitit on kehitetty laukaistavaksi Soyuz-U-raketin avulla. Lentokorkeus on edeltävissä tehtävissä ollut noin 170-370 kilometriä ja inkлинаatio 62.8-67.2 astetta päiväntasaajaan nähden. Kobalt-M-satelliittissa on propulsiojärjestelmä. Propulsiojärjestelmän avulla satelliittia voidaan ohjata laukaisun jälkeenkin, esimerkiksi uudelle alueelle kuvaamaan mielenkiintoisia kohteita. [8;15;21;58]

Kobalt-M-satelliitit painavat 6600 kiloa ja ne käyttävät LEO-rataa kuvaamiseen. Kobalt-M-satelliitti käyttää kahta erilaista voimanlähdettä, akkua sekä aurinkopaneeleita. [15;16]

## 5.11 Resoluutio ja kuvantulkinta

Julkisten lähteiden mukaan Kobalt-M kykenee kuvantarkkuudessa 30 senttimetrin resoluutioon. Julkisten lähteiden mukaan 30 senttimetrin resoluutioon päästään, mikäli propulsiojärjestelmää käytetään normaalin lennon ohella. Kuvantulkinta tehdään avaruustiedustelukeskuksessa, jossa analysoidaan kerätty data. [15;32]

## 5.12 Missiot

Ensimmäinen Kobalt-M-satelliitti laukaistiin 24.9.2004 Plesetskistä Soyuz-U-kantorakentin avulla. Vuodesta 2004 eteenpäin on suoritettu vuosittain lähes identtinen operaatio aina vuoteen 2012 asti jolloin 17.5-24.9.2012 suoritettiin viimeisin Kobalt-M-operaatio [34;38]. Vuonna 2012 suoritettu operaatio tunnettiin nimellä Kosmos-2480. Tuolloin laukaisu suoritettiin Plesetskistä, josta satelliitti saatettiin 255 kilometrin korkeuteen, inkliinaation ollessa 81.4 astetta päiväntasaajaan nähden. [36]

Vuodelta 2013 ei ole julkisia lähteitä Kobalt-M-satelliitin laukaisusta. Vuoden tauko laukaisuissa voi osoittaa, että kyseisestä satelliittiluokasta ollaan luopumassa. Toisaalta laukaisuihin liittyvää tietoa on hankala saada ja se tulee käyttöön vasta viiveellä. [36;44;69]

## 5.13 Yhteenveto missioista ja suorituskyvystä

<b>KOBALT-M-SATELLIITTIIEN MISSIOT (14F137)</b>		
<b>Laukaisupäivä/Mission päättyminen</b>	<b>Satelliitti/ Missio</b>	<b>Laukaisupaikka/Kantoraketti</b>
1. 24.9.2004/10.1.2005	Kobalt-M / (Kosmos-2410)	Plesetsk/Soyuz-U
2. 3.5.2006/19.7.2006	Kobalt-M / (Kosmos-2420)	Plesetsk/Soyuz-U
3. 7.6.2007/23.8.2007	Kobalt-M / (Kosmos-2427)	Plesetsk/Soyuz-U
4. 14.11.2008/23.2.2009	Kobalt-M / (Kosmos-2445)	Plesetsk/Soyuz-U
5. 29.4.2009/27.6.2009	Kobalt-M / (Kosmos-2450)	Plesetsk/Soyuz-U
6. 16.4.2010/21.7.2010	Kobalt-M / (Kosmos-2462)	Plesetsk/Soyuz-U
7. 27.6.2011/24.8.2011	Kobalt-M / (Kosmos-2472)	Plesetsk/Soyuz-2
8. 17.5.2012/24.9.2012	Kobalt-M / (Kosmos-2480)	Plesetsk/Soyuz-2

<b>KOBALT-M(YANTAR)-SATELLIITIN SUORITUSKYKY</b>	
Manoveerauskyky	Voidaan ohjata propulsiojärjestelmän avulla
Resoluution tarkkuus	30 senttimetriä
Voimanlähde	Aurinkopaneelit/Akku
Elinikä	76-130 päivää
Lentoradan korkeus	170-370 kilometriä
Lentorata	LEO (Low Earth Orbit)
Inkliinaatio	62,8°-67.2°
Samanaikainen ylitys	Kerran päivässä/voidaan vaikuttaa propulsiojärjestelmän avulla.
Datansiirto	Filmikapselit 3 kpl/datan purku laskun jälkeen
Massa	6600 kg

Kuva 7 [19]: Yhteenveto suorituskyvystä

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työni avulla lukijan on mahdollista tehdä omat johtopäätöksensä venäläisen kuvaussatelliittitiedustelun suorituskyvystä. Kertauksena tutkielmani tutkimuskysymykset. Päättökysymys: Mikä on venäläisen kuvaussatelliittitiedustelun tämänhetkinen suorituskyky? Tutkimukseni sivukysymykset: Millainen venäläinen kuvaussatelliittitiedustelu tulee olemaan tulevaisuudessa? Mitkä ovat kuvauksen ajalliset rajoitteet? Millaiseen resoluutioon ja kattavuuteen venäläinen kuvaussatelliittitiedustelu pystyy? Millaista satelliittikalustoa venäläisiltä löytyy? Johtopäätökset osiossa vastaan tutkielmani tutkimuskysymyksiin, joihin osaltaa löytyy vastaus jo aiemmista kappaleista. Johtopäätökseni perustuvat kirjallisuustutkimuksen pohjalta löytämäni tietoon ja omaan päättelyyn.

### 6.1 Miten Venäjä pystyy käyttämään kuvaussatelliittitiedustelua meitä vastaan nyt ja tulevaisuudessa?

Tällä hetkellä Venäjällä on käytössä yksi kuvaustiedusteluun kykenevä Persona 2-luokan satelliitti. Julkisten lähteiden perusteella satelliitti toimii osana ohjusennakkovaroitusjärjestelmää. [31;32] On kuitenkin muistettava, että Persona 2-luokan satelliitti on varustettu propulsiojärjestelmällä ja sitä voidaan ohjata haluttuun paikkaan.

Mikäli Venäjä haluaisi käyttää kuvaustiedustelua osana merivoimia vastaan kohdistettua operaatiota olisi se tällä hetkellä mahdollista, mutta mielestäni epätodennäköistä. Halutessaan Venäjä kykenisi kuvaamaan yhdellä ylilennolla 1300 kilometrin kaistan, eli käytännössä koko Itämeren alueen. Kuvaustiedustelu ylittäisi yhden kohteen, esimerkiksi miinalaivan tai saaren kerran päivässä, samaan kellonaikaan päivittäin. Kuvaustiedustelulla Venäjä kykenisi hankimaan noin 50 senttimetrin resoluutiolla olevaa kuvaa. Tarvittaessa kiinnostavista kohteista pystytään propulsiojärjestelmän avulla saamaan kuvaa jopa 33 senttimetrin tarkkuudella. Radiolinkin avulla tapahtuva tiedonsiirto on lähes reaaliaikaista, joten tiedonsiirrolla ei ole merkittävää viivettä. [26]

## 6.2 Resoluutio ja havaitsemiskyky (saareen kiinnittynyt)

Aiemmin työssäni käsittelin Johnssonin kriteerin määreitä: detection (havainto), recognition (tunnistus), identification (yksilöinti) sekä orientation eli suunta (suunta). Venäläinen kuvaustiedustelu saisi havainnon (detection) merivoimien pienimmistäkin aluksista, esimerkiksi 150 senttimetriä x 200 senttimetriä pitkistä kumiveneistä. Tunnistuksen (recognition) osalta voidaan eri alusluokkia tunnistaa 50 senttimetrin-33 senttimetrin resoluutiolla niiden koon perusteella. Aluksen yksilöllinen identifiointi (yksilöinti) on hankalaa jopa 33 senttimetrin resoluutiolla, mikäli tueksi ei saada muuta sensoridataa. Aluksen suunnan (orientation) määrittäminen kuvaustiedustelun avulla on mahdollista jopa pienempien alusten osalta.

Mikäli alus on naamioitu hyvin, asettaa se lisähaasteita tunnistukselle sekä havaitsemiselle. Tukeutunut alus havaittaisiin saaresta helposti, mikäli keli on otollinen infrapuna-alueella toimivalle kuvaustiedustelusatelliitille. Kohteen naamioinnilla voidaan havaintoa ja tunnistusta vaikeuttaa huomattavasti. Mikäli sää on pilvinen tai sumuinen, kohteiden tunnistus vaikeutuu tai on mahdotonta.

Kuvavertailun avulla voidaan havaita ideaalitilanteessa 33 senttimetriä x 33 senttimetriä kokoinen muutos saareissa tai muussa kohteessa. Venäläinen kuvaussatelliittitiedustelu kykenee erottamaan ideaalitilanteessa kaksi 33 senttimetrin päässä olevaa alusta toisistaan. [1;26;29;61]

## 6.3 Sensorifuusion mahdollisuudet

Sivusin työssäni jo aiemmin sensorifuusiota sekä muita satelliitteja. Sensorifuusion avulla voidaan lisätä tällä hetkellä huonossa tilassa olevaa kuvaussatelliittitiedustelua. Jos maasemalla operaattori ei kykene tunnistamaan kohdetta kuvaussatelliittidatan perusteella, voidaan alueelta tarkastella signaalitiedustelun tai ELSO-tiedustelun saamaa dataa. Signaalintiedustelusatelliittien tuottamaa dataa voidaan yhdistää havaittuun kohteeseen. Yhdistämällä kahden eri sensorin tuottamaa dataa, voidaan suorittaa havaitusta (detection) kohteesta identifiointi, eli (yksilöinti) sensorifuusion avulla. Kuvaussatelliittitiedustelun tehoa voi lisätä esimerkiksi laivaston signaalintiedustelualus, SAR-satelliitti tai signaalintiedustelusatelliitti. Mielestäni kuvaussatelliittitiedustelun tehoa mitattaessa ei ole mielekasta tarkastella ainoastaan kuvauksen suorituskyyä. Kuvaustiedustelun suorituskyy tulisi mieltää osaksi suurempaa sensoriverkostoa, joka koostuu niin merellä, ilmassa ja avaruudessa olevista sensoreista.

Työssäni olen käsitellyt tiedustelun yhtä kapeaa sektoria. Kuvaussatelliittitiedustelun teho voidaan siis moninkertaistaa muiden sensorien avulla.

## 6.4 Tulevaisuus

Venäläisen kuvaussatelliittitiedustelun tulevaisuutta on hankala arvioida. On ymmärrettävää, että tietoa tulevista hankkeista annetaan julkiseen mediaan mahdollisimman vähän. Tiedossa on kuitenkin seuraava suunniteltu laukaisu ja uudet kuvaustiedustelusatelliittiprojektit.

Venäjä on ilmoittanut laukaisevansa 2013 lopulla tai vuoden 2014 alussa seuraavan Persona-luokan satelliitin. Seuraava Persona-luokan satelliitti on nimeltään Persona 3. Persona 3-satelliitti eroaa Persona 2-satelliitista tiedonsiirron suhteen. Persona 3-satelliitin tiedonsiirto tapahtuu ”laser data transmission-system”-toiminnon avulla. Persona 3-satelliitti käyttää tiedonsiirtoon avustavaa satelliittia (”relay satellite”), joka sijaitsee GEO-radalla. Apusatelliitin avulla tiedonsiirto on nopeampaa ja varmempaa kuin aiemmissa Persona-luokan satelliiteissa. Yksi Persona-projektin pääsuunnittelijoista, Anatoly Shilov, sanoi, että apusatelliittitekniologiaa tullaan hyödyntämään myös tulevissa satelliiteissa. [26]

## 6.5 Suunnittelussa olevat satelliitit

Tulevaisuuden arviointi on aina arvailua. On epämielikästä ennustaa tulevaisuutta. Lähteiden perusteella voidaan ennustaa pääpiirteisesti tulevaa venäläistä kuvaussatelliittisuorituskykyä.

Ria Novostin 10.4.2013 julkaistun artikkelin mukaan Venäjän Puolustusministeriö on antanut rahoituksen Lavochkin aerospace company:lle uuteen kuvaustiedustelusatelliittihankkeeseen. Yhtiö on saanut käyttöönsä 70 biljoonaa ruplaa, joiden avulla rakennetaan 5 huippuresoluutiolla varustettua kuvaustiedustelusatelliittia.

Yhtiön toimitusjohtaja Viktor Khartov sanoi Izvestia-lehden haastattelussa, että satelliitit tullaan rakentamaan Lavochkin tehtaalla, mutta teknologia tullaan tilaamaan ulkomailta. Khartov sanoi haastattelussa, että tulevaisuudessa on tavoitteena omavaraisuus myös satelliittien tekniikan suhteen. Tekniikka tullaan tilaamaan European EADS:n yhteenliittymän Thales Alenia Space:lta tai Israelilaiselta Aerospace Industries-yhtiöltä. Satelliittien osalta suunnitelmaluonnokset valmistuvat 2013 lopulla.

Khartovin mukaan suunnitelmissa on laukaista ensin kaksi satelliittia. Tämän jälkeen suoritetaan loput kolmesta laukaisusta. Viiden satelliitin avulla Venäjä saavuttaa koko maan kattavan kuvaussatelliittitiedustelun peiton. Venäjän Puolustusministeriö on asettanut tilaukselle vaatimukset, joiden mukaan resoluution on oltava erittäin tarkkaa. Satelliittien tulisi tuottaa dataa, jonka avulla voidaan erottaa esimerkiksi auton rekisterikilven teksti, tai jopa tunnistaa ihminen kasvonpiirteiden avulla.

Uskon, että Venäjän Puolustusministeriön asettamat vaatimukset satelliittien suorituskyvylle ovat Venäjän todellinen tavoite. Mielestäni ulkomaan tilauksen toteutuminen on mahdollista. Venäjä ei ole kyennyt viimeisten vuosien aikana toteuttamaan onnistuneita kuvaussatelliittimissioita omalla teknologiallaan. Toisaalta poliittisten muutosten johdosta, venäläiset ovat peruneet monia ulkomaan tilauksia. Mielestäni venäläisen median antamaan informaatioon tulisi suhtautua varauksella. Ulkomaan tilauksen toteutuminen jäänee arvoitukseksi, kunnes se todella toteutuu.

Mikäli Venäjä luopuu ulkomaan tilauksesta, oman arvioni mukaan olisi mahdollista, että Venäjä ottaisi Kobalt-M-luokan kehitellyn version käyttöön. Julkisten lähteiden mukaan Kobalt-M-luokkaan olisi suunniteltu uutta tiedonsiirtojärjestelmää vanhentuneen pudostuskapselin tilalle. Mielestäni venäläinen kuvassatelliittitiedustelu riippuu olennaisesti myös poliittisista tekijöistä, joita tulisi seurata ennustaakseen tulevaa. Oman arvioni mukaan Venäjä turvautuu ulkomalta tilattuun teknologiaan, jonka avulla uudet satelliitti hankkeet saadaan aluilleen. Tämän vaiheen jälkeen Venäjä aloittaa seuraavan vaiheen, jossa se kehittyy omavaraiseksi tekniikan tuotannon suhteen. Perustelen väitteeni sillä, että viimeiset missiot ovat todistaneet Venäjän kyvyttömyyden tuottaa itse riittävän laadukkaita satelliitteja. Kobalt-M-luokan päivittäminen olisi mielestäni niin sanottu varavaihtoehto, tai väliaikainen vaihtoehto ennen parempien satelliittien valmistumista. En usko, että Kobalt-M-luokan päivitys saavuttaisi Venäjän haluamaa suorituskykyä. Kobalt-M-luokka on mielestäni liian vanha tarjotakseen pysyvää uudensukupolven suorituskykyä.

Mikäli Venäjän tulevat satelliittihankkeet toteutuvat vaatimuksineen, kuvaussatelliittitiedustelun suorituskyky tulee kasvamaan huipputasolle. Mielestäni suorituskyky voidaan saada huipputasolle noin viiden vuoden sisällä. Perustan väitteeni aiempien satelliittihankkeiden toteutumisen keston.

Suomen merivoimiin kohdistuva satelliittiuhka tulee oman arvioni mukaan kasvamaan tulevaisuudessa. Mikäli Venäjän Puolustusministeriön hanke toteutuu, olisi Suomi automaattisesti

kuvaussatelliittitiedustelun peittoalueella. Suomen merivoimista saataisiin senttimetriluokan kuvaussatelliittidataa. Alustasolla yksittäinen alus kyettäisiin yksilöimään helposti, mikäli sitä ei olisi naamioitu. Toisaalta lähes jatkuva reaaliaikainen kuva, jota uuden sukupolven satelliittit tuottavat, tekisi myös harhautustoimenpiteistä hankalampia. [8]

Uskon, että tulevaisuudessa merivoimien tulisi suhtautua satelliittitiedusteluun yhtenä suurena uhkana. Kuvaustiedustelusatelliittien tuottama data olisi Venäjän Puolustusministerin vaatimusten mukaan senttimetrin luokkaa. Viidellä satelliitilla saavutettaisiin maan kattava peittoalue, johon myös Suomi kuuluisi. Mikäli verrataan Persona 3-luokan datansiirtokykyä tulevaan, uskon, että myös tulevissa satelliiteissa pyritään reaaliaikaiseen datansiirtoon. Jos Venäjän uusin kuvaustiedustelusatelliittihanke toteutuisi vaatimuksineen, voitaisiin sillä katsoa olevan myös ohjustulen osoituskykyä. [46]

## 6.6 Saatesanat

Nykyinen kuvaussatelliittitiedustelun suorituskyky tunnetaan hyvin. Jokainen voi keräämäni informaation perusteella tehdä omat arviot suorituskyvyn vaikutuksista. Tulevaisuuden ennustaminen on kuitenkin hankalaa ja osittain epämielikästä ilman riittävää tietoa. Uskon vakaasti kaikkiin lähteisiin ja tietoon pohjaten, että venäläinen kuvaussatelliittitiedustelu on jälleen nousemassa uudelle tasolle. Tulevaisuudessa Venäläinen kuvaussatelliittitiedustelu tulee olemaan suuri osa Venäjän asevoimien suorituskyvystä, myös merivoimia vastaan. En työssäni ota kantaa siihen, miten merivoimien tulisi valmistautua kuvaussatelliittitiedusteluun. Toivon sen sijaan, että työni osaltaan auttaa Suomen puolustusvoimia kartoittamaan venäläisen kuvaussatelliittitiedustelun nykyistä sekä tulevaisuuden suorituskykyä.



## LÄHTEET

- [1] Aerospace [Verkkajulkaisu] Thales Group 2.9.2013. [Viitattu 10.12.2013]. Saatavissa: <https://www.thalesgroup.com>
- [2] Araks [Verkkajulkaisu] Anatoly Zak 22.12. [Viitattu 3.4.2013]. Saatavissa: <http://www.russianspaceweb.com/araks.html>
- [3] Avaruuden hyväksikäyttö sotilasoperaatioissa. – Venäläinen näkemys. Mika Huttunen. Taktiikanlaitos. 2/2002.
- [4] Cosmos 2427 [Verkkajulkaisu] 7.6.2007 Pavel Podvik. [Viitattu 16.12.2013]. Saatavissa: [http://russianforces.org/blog/2007/06/cosmos2427\\_new\\_kobaltm\\_optical.shtml](http://russianforces.org/blog/2007/06/cosmos2427_new_kobaltm_optical.shtml)
- [5] Cosmos- 2450 [Verkkajulkaisu] Pavel Podvig 29.4.2009. [Viitattu 16.5.2013]. Saatavissa: [http://russianforces.org/blog/2009/04/cosmos-2450\\_-\\_new\\_kobalt-m\\_rec.shtml](http://russianforces.org/blog/2009/04/cosmos-2450_-_new_kobalt-m_rec.shtml)
- [6] Encyclopedia Astronautica [Verkkajulkaisu] Mark Wade 2.6.2013. [Viitattu 19.12.2013]. Saatavissa: <http://www.astronautix.com>
- [7] Eoin O Carroll. How NASA dodged a derelict Soviet spy satellite. 1.5.2013 [Verkkajulkaisu] [Viitattu 9.12.2013]. Saatavissa: <http://www.csmonitor.com/layout/set/r14/Science/2013/0501/How-NASA-dodged-a-derelict-Soviet-spy-satelli>
- [8] Esa Salminen: ”Satelliittien hyväksikäyttö Puolustusvoimissa” Maanpuolustuskorkeakoulu. Tekniikanlaitos (2000)
- [9] Eva Isakson: ”Sota avaruudessa – tarua vai uhka?” (1985)
- [10] Geostationary Orbit [Verkkajulkaisu] Noordung, Hermann. 21.6.2009. [Viitattu 19.12.2013]. Saatavissa: [http://www.princeton.edu/~achaney/tmve/wiki100k/docs/Geostationary\\_orbit.html](http://www.princeton.edu/~achaney/tmve/wiki100k/docs/Geostationary_orbit.html)

- [11] HEO, LEO GEO and GSCIS. [Verkkajulkaisu] Alexander P Trichenko 1.6.2012. [Viitattu 17.12.2013]. Saatavissa: [http://www.wmo.int/pages/prog/sat/meetings/documents/GSICS-EP-12\\_Doc\\_12\\_PCW-Trishchenko.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/sat/meetings/documents/GSICS-EP-12_Doc_12_PCW-Trishchenko.pdf)
- [12] Jenni Vepsäläinen, (2003) kaukokartoituksen periaatteet. Tekniikanlaitoksen opetusmateriaali.
- [13] John Pike Space Based Radar [Verkkajulkaisu] 3.9.2013  
[Viitattu 17.12.2013]. Saatavissa: <http://www.globalsecurity.org/space/systems/sbr.htm>
- [14] Kobalt-M missions [Verkkajulkaisu] Anatoly Zak. 28.9.2012. [Viitattu 4.5.2013]. Saatavissa: [www.russianspaceweb.com/kobalt-M](http://www.russianspaceweb.com/kobalt-M)
- [15] Kobalt-M system description [Verkkajulkaisu] Anatoly Zag 28.9.2012. [Viitattu 14.10.2013]. Saatavissa: [http://www.russianspaceweb.com/kobalt\\_m.html](http://www.russianspaceweb.com/kobalt_m.html)
- [16] Kobalt-M orbit [Verkkajulkaisu] Zarya space blog 3.6.2010. [Viitattu 12.10.2013]. Saatavissa: <http://www.zarya.info/blog/?tag=kobalt-m>
- [17] Kobalt-M [Verkkajulkaisu] Zarya space blog 2.4.2012. [Viitattu 20.9.2013]. Saatavissa: <http://www.zarya.info/blog/?tag=kobalt-m>
- [18] Kooste: (Sami-Petteri Gustafsson)
- [19] Kooste: (Sami-Petteri Gustafsson)
- [20] Kupperberg, Paul (2003). Rosen. Spy satellites
- [21] Launch of cosmos 2445.[Verkkajulkaisu] Pavel Podvig. 14.11.2008 [Viitattu 7.8.2013]  
Saatavissa: [http://russianforces.org/blog/2008/11/launch\\_of\\_cosmos-2445\\_-\\_kobalt.shtml](http://russianforces.org/blog/2008/11/launch_of_cosmos-2445_-_kobalt.shtml)
- [22] Luento 3 ”Radiotekniikan perusteet: Signaalien eteneminen” [Luentomateriaali] Matti Juutilainen.

- [23] Methods for Establishing Heliosentric Spacecraft Formations Using Gravity Assist from Nature Satellite [Verkkajulkaisu] J.E. Diez 2.3.2013. [Viitattu 16.12.2013]. Saatavissa: <http://www.jhuapl.edu/ott/technologies/technology/articles/P01771.asp>
- [24] Mika Huttunen, Keijo Kostianen, Petteri Lalu, Kari Nisula, Janne Tähtinen: ”Taistelun kuva muutoksessa – taistelukentästä taistelutilaan” :Taktiikan laitos (2/2009)
- [25] Military Space [Verkkajulkaisu] Russian strategic nuclear forces. 26.12.2007. [Viitattu 3.4.2013]. Saatavilla: [Russianforces.org/space](http://Russianforces.org/space)
- [26] Orgin of Persona Project [Verkkajulkaisu] Anatoly Zag 12.5.2013. [Viitattu 14.6.2013]. Saatavissa: <http://www.russianspaceweb.com/persona.html>
- [27] paikkatieto kurssi: (opintopaketti) Maanpuolustuskorkeakoulu. Tekniikanlaitos.
- [28] Paul A Longley: ”Geographic Information Systems and Sciense” (2008)
- [29] Persona (Kvarts, 14F137) [Verkkajulkaisu] Gunter Greps 24.1.2013. [Viitattu 4.12.2013]. Saatavissa: [http://space.skyrocket.de/doc\\_sdat/persona.htm](http://space.skyrocket.de/doc_sdat/persona.htm)
- [30] Persona-2 [Verkkajulkaisu] Anatoly Zak 1.4.2013. [Viitattu 5.5.2013]. Saatavissa: [russianspaceweb.com](http://russianspaceweb.com)
- [31] Podvig, Nauka i Vseobshshaja Bezopasnost, volume 1, No. 1, 2002
- [32] Ratojen käyttö valvonnassa: Podvig, History and the current status of the Russian early warning system, clobal security no 1. 2002. Stanford.
- [33] Resurs-DK [Verkkajulkaisu] Anatoly Zak 1.8.2013. [Viitattu 3.11.2013]. Saatavissa: [www.russianspaceweb.com/resurs\\_p.html](http://www.russianspaceweb.com/resurs_p.html)
- [34] Rianovosti, Reformirovanie Voorushennih sil RF, 1.12.2009
- [35] Richelson, Jeffrey (1990). America's Secret Eyes in Space: the U.S. Keyhole Spy Satellite Program. Harper & Row. Retrieved February 15, 2012.

- [36] Russia launches military satellite [Verkkojulkaisu] Oleg Ursunov 7.5.2012. [Viitattu 13.10.2013]. Saatavissa: [http://en.ria.ru/military\\_news/20120517/173515051.html](http://en.ria.ru/military_news/20120517/173515051.html)
- [37] Russia to launch 5 military satellites by end of 2013, 6 in 2014. [Verkkojulkaisu] Staff Writers 4.12.2013. [Viitattu 28.12.2013]. Saatavissa: [http://www.spacedaily.com/reports/Russia\\_to\\_launch\\_5\\_military\\_satellites\\_by\\_end\\_of\\_2013\\_6\\_in\\_2014\\_999.html](http://www.spacedaily.com/reports/Russia_to_launch_5_military_satellites_by_end_of_2013_6_in_2014_999.html)
- [38] Russian Space forces launches new military satellite. [Verkkojulkaisu] Alexei Nikolskiy 25.1. 2009. [Viitattu 13.10.2013]. Saatavissa: <http://en.ria.ru/russia/20080125/97753428.html>
- [39] Russia plans to launch 11 military satellites by 2015. [Verkkojulkaisu] Oleg Urusov 29.11 2013. [Viitattu 14.12.2013]. Saatavissa: [http://en.ria.ru/military\\_news/20131129/185149019.html](http://en.ria.ru/military_news/20131129/185149019.html)
- [40] Russian spy satellite launched via Soyuz 2-1B [Verkkojulkaisu] Chris Bergin ja William Graham 7.6.2013. [Viitattu 19.12.2013]. Saatavissa: <http://www.nasaspaceflight.com/2013/06/russian>
- [41] Russian Soyuz launches Advanced Reconnaissance Satellite. [Verkkojulkaisu] Patric Blau 7.6.2013. [Viitattu 8.9.2013]. Saatavissa: <http://www.spaceflight101.com/soyuz-2-1b-persona-2-launch.html>
- [42] Russia to Launch new Spy Satellite at June [Verkkojulkaisu] Staff Writers 4.6.2013. [Viitattu 8.12.2013]. Saatavissa: [http://www.spacedaily.com/reports/Russia\\_to\\_Launch\\_New\\_Spy\\_Satellite\\_in\\_June\\_999.html](http://www.spacedaily.com/reports/Russia_to_Launch_New_Spy_Satellite_in_June_999.html)
- [43] Russia launches Cosmos-series military satellite. [Verkkojulkaisu] Sergei Kazag 20.11.2009. [Viitattu 11.12.2013]. Saatavissa: <http://en.ria.ru/science/20091120/156918854.html>
- [44] Russia to Launch New Spy-Satellite [Verkkojulkaisu] Andrei Morgunov 31.5.2013. [Viitattu 14.10.2013]. Saatavissa: <http://www.themoscowtimes.com/news/article/russia-to-launch-new-spy-satellite/480883.html>

[45] RUSSIAN AND CHINESE RESPONSES TO U.S. MILITARY PLANS IN SPACE  
(pavel podvik and hui zhang 2008)

[46] Russian Military order five hi-res spy satellites –media. [Verkkajulkaisu] Alexei Filippov 10.4.2013. [Viitattu 11.10.2013]. Saatavissa:  
[http://en.ria.ru/military\\_news/20130410/180548366.html](http://en.ria.ru/military_news/20130410/180548366.html))

[47] Russian strategic nuclear forces [Verkkajulkaisu] 28.11.2013. Pavel Podvig. [Viitattu 25.7.2013]. Saatavissa: <http://russianforces.org/sprn/>

[48] Russia Announces New by 50 Billion Space Program. [Verkkajulkaisu] Michael Rundle 12.4.2013. [Viitattu 18.12.2013]. Saatavissa:  
[http://www.huffingtonpost.co.uk/2013/04/12/russia-announces-new-50-billion-space-program\\_n\\_3068556.html](http://www.huffingtonpost.co.uk/2013/04/12/russia-announces-new-50-billion-space-program_n_3068556.html)

[49] Russian space industry to get \$52bn investment, possibly own ministry. [Verkkajulkaisu]. Sergey Guneev. 12.4.2013. [Viitattu 19.12.2013]. Saatavissa: <http://rt.com/news/putin-vostochny-space-industry-749/>

[50] Russia planning 10 year 640 billion military modernization. [Verkkajulkaisu] John Reed 25.2.2011. [Viitattu 19.12.2013]. Saatavissa: <http://defensetech.org/2011/02/25/russia-planning-10-year-640-billion-military-modernization/>

[51] Russia Looking To Germany for Radar Reconnaissance Satellite. [Verkkajulkaisu] Peter B Selding. 22.2.2013. [Viitattu 19.12.2013]. Saatavissa:  
<http://www.spacenews.com/article/military-space/33800russia-looking-to-germany-for-radar-reconnaissance-satellites>

[52] Satellite launches [Verkkajulkaisu] Marc Dam 8.1.2012. [Viitattu 10.6.2013]. Saatavissa: <http://www.satelliteonthenet.co.uk/index.php/2013>

[53] Satellite orbits [Verkkajulkaisu] Inet Daemon 8.2.2013 [Viitattu 18.12.2013]. Saatavissa: <http://www.inetdaemon.com/tutorials/satellite/orbits/>

[54] Seinfeld, John H.; Pandis, Spyros N. (2006). Atmospheric Chemistry and Physics - From Air Pollution to Climate Change (2nd ed.). John Wiley and Sons, Inc.

- [55] Sensorifuusio [Verkkojulkaisu] Rainer Rehn. [Viitattu 8.9.2013]. Saatavissa: <http://www.zenrobotics.com/web/fi/teknologia/sensorifuusio/>
- [56] Soyuz 2-1b rocket launches classified military payload [Verkkojulkaisu] Stephen Clark 26.7.2013. [Viitattu 19.12.2013]. Saatavissa: <http://www.spaceflightnow.com/news/n0807/26soyuz/>
- [57] Souyz Takes Russian Military Satellite To Orbit. [Verkkojulkaisu] Andrei Morgunov 7.6.2013. [Viitattu 10.12.2013]. Saatavissa: [http://en.ria.ru/military\\_news/20130607/181566973.html](http://en.ria.ru/military_news/20130607/181566973.html)
- [58] Space launch report archive [Verkkojulkaisu] Ed Kyle. huhtikuu-toukokuu 2011. [Viitattu 16.12.2013]. Saatavissa: <http://www.spacelaunchreport.com/slr2011q2.html>
- [59] Sun-Synchronous Orbit [Verkkojulkaisu] Produced by Galactics. 8.8.1997. [Viitattu 18.12.2013]. Saatavissa: <http://satellites.spacesim.org/english/anatomy/orbit/sunsynch.html>
- [60] Säkkinen Jarmo. E4140. SAR-satelliittien hyödyntäminen merivalvonnassa. Maanpuokustuskorkeakoulu. 2011.
- [61] Teknisiä tietoja. [Verkkojulkaisu] Telephototech. 1.11.2008. [Viitattu 10.12.2013]. Saatavissa: [http://www.telephototech.ru/print.php?stid=13&print\\_st=1](http://www.telephototech.ru/print.php?stid=13&print_st=1)
- [62] Testing for Resolution and Contrast. Franz Sigg. 5.8.2006. s1-5.
- [63] Thermal imaging [Verkkojulkaisu] Charlse Petiweg [Viitattu 19.12.2013]. Saatavissa: [http://www.flir.com/uploadedfiles/eng\\_01\\_howfar.pdf](http://www.flir.com/uploadedfiles/eng_01_howfar.pdf)
- [64] Three classes of orbit [Verkkojulkaisu] Paul Pryzborski 12.3.2012. [Viitattu 19.12.2013]. Saatavissa: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/OrbitsCatalog/page2.php>
- [65] Tielenen, Venäjän ohjustorjuntajärjestelmä, Maanpuolustuskorkeakoulu 28.12.2001

- [66] Types of orbits [Verkkajulkaisu] Iowa State University. 2.6.2002. [Viitattu 19.12.2013]. Saatavissa: [http://www.polaris.iastate.edu/EveningStar/Unit4/unit4\\_sub3.htm](http://www.polaris.iastate.edu/EveningStar/Unit4/unit4_sub3.htm)
- [67] Typologies des trajectoires [kuva] Christophe Bonnal [Viitattu 5.5.2013]. Saatavissa: <http://eduscol.education.fr/orbito/orb/trajecto/traj2.htm>
- [68] Venäjän avaruuspuolustus ja sen merkitys kansalliseen turvallisuuteen. Moilanen Mikko. SM658. 2011.
- [69] Yantar-4K2M (Kobalt-M, 11F695M ?) [Verkkajulkaisu] Gunter Grebs 2.10.2013 [Viitattu 11.10.2013]. Saatavissa: [http://space.skyrocket.de/doc\\_sdat/yantar-4k2m.htm](http://space.skyrocket.de/doc_sdat/yantar-4k2m.htm)
- [70] (Äärirajat) Kuva 3: Havainnekuva johnsonin kriteeristä
- [71] 781.Tielinen, Venäjän ohjustorjuntajärjestelmä, Maanpuolustuskorkeakoulu 28.12.2001